

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

З. Т. НАЗАРЧУК (головний редактор), Г. М. НИКИФОРЧИН (заст. головного редактора), Р. Р. КОКОТ (відповідальний секретар), О. Є. АНДРЕЙКІВ, Р. Є. ГЛАДИШЕВСЬКИЙ, І. М. ДМИТРАХ, З. А. ДУРЯГІНА, І. Ю. ЗАВАЛІЙ, О. І. ЗВІРКО, І. М. ЗІНЬ, Р. М. КУШНІР, Д. Б. КУРИЛЯК, О. П. ОСТАШ, В. В. ПАНАСЮК, І. М. ПОГРЕЛЮК, М. С. ПОЛУТРЕНКО, В. І. ПОХМУРСЬКИЙ, Т. О. ПРИХНА, М. П. САВРУК, М. Д. САХНЕНКО, В. Р. СКАЛЬСЬКИЙ, О. З. СТУДЕНТ, М. С. ХОМА, В. Ф. ЧЕКУРИН, О. Е. ЧИГИРИНЕЦЬ, В. М. ФЕДІРКО, С. О. ФІРСТОВ, О. Т. ЦИРУЛЬНИК, П. В. ЯСНІЙ

## МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Р. АКІД (Великобританія), Г. БОЛЗОН (Італія), М. ЕЛЬБОВДЖАІНІ (США–Канада), Е. ГДУТУС (Греція), В. КЕЙН (Індія), Т. ЛАГОДА (Польща), Г. ЛЕСЮК (Польща), П. МОРЕЙРА (Португалія), А. ПІХ (Німеччина), Г. ПЛЮВІНАЖ (Франція), Я. ПОКЛЮДА (Чехія), Г. ШМІТТ (Німеччина), А. СЕДМАК (Сербія), Х. ТОРІБІО (Іспанія), Л. ТОТ (Угорщина), П. ТРАМПУШ (Угорщина), В. ЯРТИСЬ (Норвегія)

## EDITORIAL BOARD

Z. T. NAZARCHUK (Editor-in-Chief), H. M. NYKYFORCHYN (Deputy Editor-in-Chief), R. R. KOKOT (Secretary), O. Ye. ANDREIKIV, R. Ye. GLADYSHEVSKII, I. M. DMYTRAKH, Z. A. DURIAGINA, I. Yu. ZAVALIY, O. I. ZVIRKO, I. M. ZIN', R. M. KUSHNIR, D. B. KURYLIAK, O. P. OSTASH, V. V. PANASYUK, I. M. POHRELYUK, M. S. POLUTRENKO, V. I. POKHMURSKII, T. O. PRIKHNA, M. P. SAVRUK, M. D. SAKHNENKO, V. R. SKALSKYI, O. Z. STUDENT, M. S. KHOMA, V. F. CHEKURIN, O. E. CHYHYRYNETS', V. M. FEDIRKO, S. O. FIRSTOV, O. T. TSYRUL'NYK, P. V. YASNIY

## INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

R. AKID (Great Britain), G. BOLZON (Italy), M. ELBOUJDAINI (USA–Canada), E. GDOUTOS (Greece), V. KAIN (India), T. LAGODA (Poland), G. LESIUK (Poland), P. MOREIRA (Portugal), A. PICH (Germany), G. PLUVINAGE (France), J. POKLUDA (Czech Republic), G. SCHMITT (Germany), A. SEDMAK (Serbia), J. TORIBIO (Spain), L. TÓHT (Hungary), P. TRAMPUSH (Hungary), V. YARTYS' (Norway)

Відповідальний за випуск д-р техн. наук, проф. Г. М. Никифорчин  
Responsible for issue Dr. (Engn.), Prof. H. M. Nykyforchyn

**Адреса редакції:** 79601, Львів МСП, Наукова, 5, Фізико-механічний інститут  
ім. Г. В. Карпенка НАН України. Тел.: (032) 263-73-74,  
(032) 229-62-30. Факс: (032) 264-94-27.  
E-mail: journal.pcm@gmail.com

**WWW-address:** <http://pcmm.ipm.lviv.ua>

**Editorial office address:** Karpenko Physico-Mechanical Institute, 5, Naukova St.,  
Lviv 79601, Ukraine. Tel.: (38) 032 263-73-74,  
(38) 032 229-62-30. Fax: (38) 032 264-94-27.  
E-mail: journal.pcm@gmail.com

Відповідальний секретар редакції **Р. Р. Кокот**

Редактори *Д. С. Бриняк, О. Т. Досин, Л. Є. Слейко*

Технічний редактор *І. В. Калинюк*

Зав. групою комп'ютерної підготовки видання *І. В. Калинюк*

Комп'ютерний набір *Л. Г. Копчак, Г. М. Кулик*

---

Підписано до друку 26.06.2020. Формат 70×108/16. Папір офсетний № 1. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 12.  
Умовн. фарбо-відбитків 12,5. Тираж 200 прим. Замовлення 010720 від 01.0.2020. Ціна договірна.  
Реєстраційне свідоцтво серія КВ № 203 від 10.11.93

Друкарня ТзОВ "Простір-М", 79000, Львів, вул. Чайковського, 8

---

© ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Г. В. Карпенка НАН УКРАЇНИ,  
"ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ", 2020

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Г. В. КАРПЕНКА

# ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ

Міжнародний науково-технічний журнал  
Заснований у січні 1965 року  
Виходить 6 разів у рік

**ТОМ 56, № 3, 2020**

травень – червень

## ЗМІСТ

*Андрейків О. Є., Долінська І. Я., Райтер О. К.* Розрахункова модель для оцінювання довговічності фібробетонних конструкцій за довготривалого статичного навантаження.....7

**РЕЗЮМЕ.** Розроблена розрахункова модель для визначення ресурсу фібробетонних елементів конструкцій за довготривалого розтягу, в основі якої – перший закон термодинаміки, і запропонована ідеалізована діаграма розтягу фібробетону. Модель застосовано для визначення ресурсу фібробетонної плити з круговим отвором за довготривалого двостороннього розтягу.

**Ключові слова:** ресурс, розрахункова модель, фібробетонні елементи конструкцій, ідеалізована діаграма розтягу фібробетону.

**РЕЗЮМЕ.** Разработана расчетная модель для определения ресурса фибробетонных элементов конструкций при длительном растяжении, в основе которой – первый закон термодинамики и предложенная идеализированная диаграмма растяжения фибробетона. Модель применена для определения ресурса фибробетонной плиты с круговым отверстием при длительном двухстороннем растяжении.

**Ключевые слова:** ресурс, расчетная модель, фибробетонные элементы конструкций, идеализированная диаграмма растяжения фибробетона.

**SUMMARY.** The calculation model has been developed to determine the life time of fiber-reinforced concrete structural elements under their long-term tension. It is based on the first law of thermodynamics and the idealized fiber concrete tension diagram is proposed by the authors. The application of this model is used for the determination of the life time of a fiber-reinforced concrete plate with a circular hole under its long-term bilateral tension.

**Keywords:** life time, calculation model, fiber-reinforced concrete structural elements, idealized fiber concrete tension diagram.

*Кравець В. С., Саврук М. П.* Деформування ізотропної пластини з періодичною системою криволінійних отворів та смуг пластичності ..... 15

**РЕЗЮМЕ.** Методом сингулярних інтегральних рівнянь розв'язано плоску пружно-пластичну задачу механіки руйнування для ізотропної площини з нескінченним рядом криволінійних отворів та смугами пластичності при їх вершинах. Досліджено вплив форм гладких отворів та радіусів закруглення контурів у їх вершинах на роз-

криття і довжини смуг пластичності. Граничним переходом, коли відносна віддаль між отворами прямує до нуля, отримано розв'язки відповідних задач для напівнескінченних двобічних закруглених вирізів, з вершин яких виходять смуги пластичності. На основі деформаційного критерію руйнування та розв'язків періодичної пружно-пластичної задачі наближено оцінено міцність прямокутних зразків з двобічними U-подібними вирізами.

**Ключові слова:** *плоска пружно-пластична задача, періодична система отворів, сингулярні інтегральні рівняння, смуги пластичності, розкриття тріщини.*

**РЕЗЮМЕ.** Методом сингулярних інтегральних урвнений решена плоская упругопластическая задача механики разрушения для изотропной плоскости с бесконечным рядом криволинейных отверстий с полосами пластичности при их вершинах. Исследовано влияние форм гладких отверстий и радиусов закругления контуров в их вершинах на раскрытие и длины полос пластичности. Предельным переходом, когда относительное расстояние между отверстиями стремится к нулю, получены решения соответствующих задач для полубесконечных двухсторонних закругленных вырезов, с вершин которых исходят полосы пластичности. На основе деформационного критерия разрушения и решений периодической упругопластической задачи приближенно оценена прочность прямоугольных образцов с двухсторонними U-образными вырезами.

**Ключевые слова:** *плоская упругопластическая задача, периодическая система отверстий, сингулярные интегральные уравнения, полосы пластичности, раскрытие трещины.*

**SUMMARY.** A plane elastic-plastic problem of fracture mechanics for an isotropic plane with an infinite series of curvilinear holes and plasticity bands at their vertices is solved by the singular integral equations method. The influence of shapes of smooth holes and contours rounding radii at their vertices on the opening displacement and lengths of the plasticity bands is investigated. The solutions of the corresponding problems for the semi-infinite bilateral rounded notches, from which the plasticity bands extend, are obtained by the limiting transition when the relative distance between the holes becomes small. The strength of the rectangular specimens with bilateral U-notches is approximately estimated based on the deformation criterion and the solutions of the periodic elastic-plastic problem.

**Keywords:** *plane elastic-plastic problem, periodic system of holes, singular integral equations, plasticity bands, crack opening displacement.*

*Козачок О. П.* Вплив часткового заповнення просвітів стисливою рідиною на контакт пружних тіл із хвилястим рельєфом ..... 24

**РЕЗЮМЕ.** Досліджено контакт двох пружних півплощин (плоска деформація), одна з яких має хвилясту поверхню, за часткового заповнення стисливою рідиною міжповерхневих просвітів. Сформульовану контактну задачу зведено до сингулярного інтегрального рівняння відносно похідної від висоти міжповерхневих просвітів і отримано його аналітичний розв'язок. Проаналізовано контактну поведінку такої системи тіл для двох різних рівнів навантаження: на першому, коли об'єм просвіту більший, ніж рідини, яка не створює тиску на поверхні тіл, і другому, коли навантаження перевищує порогове, за якого рідина заповнює весь просвіт і чинить опір його закриттю.

**Ключові слова:** *контактна взаємодія, хвилястий рельєф, міжповерхневі просвіти, стислива рідина, контактна податливість тіл.*

**РЕЗЮМЕ.** Исследован контакт двух упругих полуплоскостей (плоская деформация), одно из которых имеет волнистую поверхность, при частичном заполнении сжимаемой жидкостью межповерхностных зазоров. Сформулированная контактная задача сведена к сингулярному интегральному уравнению относительно производной

от высоты межповерхностных зазоров, которое решено аналитически. Проанализировано контактное поведение такой системы для двух различных уровней нагрузки: на первом, когда объем зазоров больше, чем жидкости, которая не создает давления на поверхности тел, и втором, когда нагрузка превышает пороговое значение, при котором жидкость заполняет весь зазор и сопротивляется его закрытию.

**Ключевые слова:** *контактное взаимодействие, волнистый рельеф, межповерхностные зазоры, сжимаемая жидкость, контактная податливость тел.*

*SUMMARY.* The contact of two elastic half-planes (plane deformation), one of which has a wavy surface, with partial filling of the compressible liquid of the interface gaps, is investigated. The formulated contact problem is reduced to a singular integral equation relative to the height of the interfacial gaps, which is obtained analytically. The contact behavior of such a system is analyzed for two different levels of loading: the first, when the volume of the gap is greater than the volume of liquid, that does not create pressure on the bodies surface, and the second, when the load exceeds the threshold value, at which the liquid completely fills the gap and is resistant to its closure.

**Keywords:** *contact interaction, wavy interface, interface gaps, compressible liquid, contact compliance of bodies.*

*Масюк А. С., Кисіль Х. В., Катрук Д. С., Скорохода В. Й., Білий Л. М.,  
Гуменецький Т. В.* Пружно-пластичні властивості полілактидних  
композитів з дрібнодисперсними наповнювачами ..... 31

*РЕЗЮМЕ.* На підставі модульно-деформаційного методу розрахунку встановлено вплив дрібно-дисперсного наповнювача (тальку) і додаткового термооброблення на пружно-пластичні властивості полілактидних матеріалів. Виявлено зміну модулів деформації та пружності і термомеханічних характеристик полілактидних композитів, максимальні значення модулів і температури плавлення спостерігають для термооброблених зразків з вмістом тальку 2 mass%. Розраховано частки пружної, пластичної та високоеластичної складових у загальній деформації полілактидних матеріалів та виявлено, що і термооброблення, і введення наповнювача призводять до зменшення частки пластичної складової. Виявлено суттєве збільшення твердості та коефіцієнта структури одержаних матеріалів внаслідок введення тальку і додаткового термооброблення.

**Ключові слова:** *полілактид, пружно-пластичні властивості, тальк, термооброблення, композит, модифікування, ступінь кристалічності.*

*РЕЗЮМЕ.* На основании модульно-деформационного метода расчета установлено влияние мелкодисперсного наполнителя (талька) и дополнительной термообработки на упругопластические свойства полилактидных материалов. Выведено изменение модулей деформации, упругости и термомеханических характеристик полилактидных композитов; максимальные модули и температуры плавления наблюдают для термообработанных образцов с содержанием талька 2 mass%. Рассчитано доли упругой, пластической и высокоэластичной составляющих в общей деформации полилактидных материалов и выявлено, что и термообработка, и введение наполнителя приводят к уменьшению доли пластической составляющей. Выведено существенное увеличение твердости и коэффициента структуры полученных материалов вследствие введения талька и дополнительной термообработки.

**Ключевые слова:** *полилактид, упругопластические свойства, тальк, термообработка, композит.*

*SUMMARY.* Based on the modular-deformation method of calculation the influence of fine-dispersed filler (talc) and additional heat treatment on elastic-plastic properties of polylactide materials is established. The change of the modulus of deformation, modulus of elasticity and thermomechanical characteristics of polylactide composites is revealed, in

particular, it is noted that the maximum values of modules and melting point are observed for heat-treated specimens with talc content of 2 mass%. The fractions of elastic, plastic and highly elastic constituents in the total deformation of polylactide materials are calculated. Significant increase of hardness value and structure coefficient of obtained materials due to talc introduction and additional heat treatment is found.

**Keywords:** *polylactide, elasto-plastic properties, talc, heat treatment, composite.*

*Jinfei Wang, Кунь П. С., Ленковський Т. М., Вікович І. А., Бойко В. М.*

Оцінювання втомної міцності пластинчастого тягового ланцюга ..... 39

**РЕЗЮМЕ.** Наведено результати моделювання методом скінченних елементів напружено-деформованого стану пластинчастого тягового ланцюга з урахуванням контактної взаємодії та тертя ланки і валика. Для наближеного розрахунку довговічності ланцюга за розподілом напружень запропоновано аналітичну залежність. Визначено умови для сили натягу ланцюга, щоб забезпечити заданий ресурс роботи в експлуатаційних умовах.

**Ключові слова:** *пластинчастий ланцюг, розподіл напружень, контактна взаємодія, довговічність.*

**РЕЗЮМЕ.** Приведены результаты расчета напряженно-деформируемого состояния тяговой цепи методом конечных элементов с учетом контактного взаимодействия. Для приближенного расчета долговечности цепи за распределением напряжений предложена аналитическая зависимость. Определены условия для силы натяжения цепи, обеспечивающей заданный ресурс работы.

**Ключевые слова:** *пластинчатая цепь, распределение напряжений, контактное взаимодействие, долговечность.*

**SUMMARY.** The results of calculation of the stress-strain state of the traction chain by the finite element method taking into account contact interaction are presented. To calculate approximately the chain durability, the theoretical relation is proposed. The conditions for the force of chain tension to provide a given work resource are determined.

**Keywords:** *plate chain, stress distribution, contact interaction, durability.*

*Миндюк В. Д., Чабан Н. І., Рибіцький І. В., Карнаш О. М. Зв'язок*

між параметрами акустичних структурних шумів та механічними властивостями конструкційних сталей ..... 44

**РЕЗЮМЕ.** Під час порівняльних досліджень параметрів акустичних структурних шумів на зразку конструкційної сталі 40Г зі застосуванням ультразвукових дефектоскопів на фазованих ґратках встановлено, що показник інтегральної густини зображення В-скану найкраще відтворює зміну енергії відбитих від неоднорідностей мікроструктури (різнозернистість, зміна співвідношення між фазовими складниками) акустичних коливань. Визначено зв'язок між показником інтегральної густини зображення акустичних структурних шумів  $R_o$  та механічними властивостями сталі. Удосконалено відомий спосіб знаходження границі плинності сталей  $\sigma_T$  за результатами вимірювання твердості  $HB$  шляхом доповнення розрахункового рівняння параметром  $R_o$  та виведено нове рівняння виду  $\sigma_T = f(R_o, HB)$  для обчислення границі плинності сталі у встановленому діапазоні значень.

**Ключові слова:** *деградація властивостей, неруйнівний контроль, акустичні зображення структурних шумів, границя плинності, твердість, технічний стан металу.*

**РЕЗЮМЕ.** При исследовании параметров акустических структурных шумов на образце конструкционной стали 40Г с применением технологии ультразвуковых фазированных решеток установлено, что показатель интегральной плотности изображения В-скана наиболее точно отображает изменение энергии отбитых от неоднород-

ности микроструктуры (разнозернистость, изменение соотношения между фазовыми составляющими) акустических колебаний. Выявлено связь между показателем интегральной плотности изображения акустических структурных шумов  $R_o$  и механическими свойствами стали 40Г. Усовершенствовано известное расчетное уравнение для определения предела текучести сталей  $\sigma_T$  по данным измерения твердости  $HB$  путем дополнения его параметром  $R_o$  и выведено новое уравнение вида  $\sigma_T = f(R_o, HB)$  для расчета ее предела текучести в установленном диапазоне значений.

**Ключевые слова:** *деградация свойств, неразрушающий контроль, акустическое изображение структурных шумов, предел текучести, твердость, техническое состояние металла.*

**SUMMARY.** Comparative researches of acoustic structural noises parameters for the structural 40Г steel specimen using the UHF-technology were carried out. It was established that the index of integral density of the B-scan image represents best of all the change of acoustic vibrations energy reflected from the heterogeneity of microstructure (anisomerity, change in correlation between phase components) of acoustic vibrations. Experimental researches to determine the character of the relation between the image integral density index of acoustic structural noises  $R_o$  and mechanical properties were conducted for 40Г steel. The research results contributed to the improvement of the known method for yield strength determination according to the results of hardness measuring by adding parameter  $R_o$  to the calculation equation. A new equation of the type  $\sigma_T = f(R_o, HB)$  for yield strength determination of 40Г steel in the established values range was derived.

**Keywords:** *degradation of properties, non-destructive testing, acoustic images of structural noises, yield strength, hardness, technical condition of the metal.*

*Шейкін С. С., Андрєєв І. В., Мельниченко В. В., Студенець С. Ф.,*

*Мельниченко Я. В., Гнатенко І. О. Деформаційне зміцнення сплаву*

*системи W–Ni–Fe холодним багаточикловим редукуванням.....51*

**РЕЗЮМЕ.** Досліджено закономірності деформаційного зміцнення та структурних перетворень важкого сплаву вольфрам–нікель–залізо за холодного редукування. Встановлено, що сплав з вмістом вольфраму 89% схильніший до деформаційного зміцнення, ніж сплав з 90% вольфраму.

**Ключові слова:** *вольфрамовий важкий сплав, спікання, деформаційне зміцнення, редукування, фізико-механічні властивості.*

**РЕЗЮМЕ.** Исследованы закономерности деформационного упрочнения и структурных изменений тяжелого сплава вольфрам–никель–железо при холодном редуцировании. Показано, что сплав с содержанием вольфрама 89% более податлив деформационному упрочнению в сравнении со сплавом с 90% вольфрама.

**Ключевые слова:** *вольфрамовый тяжелый сплав, спекание, деформационное упрочнение, редуцирование, физико-механические свойства.*

**SUMMARY.** The regularities of deformation hardening and structural transformations of a heavy tungsten–nickel–iron alloy with cold reduction have been observed. It was found that an alloy with a tungsten content of 89% is more prone to strain hardening than an alloy with a tungsten content of 90%.

**Keywords:** *tungsten heavy alloy, sintering, strain hardening, reduction, physical and mechanical properties.*

*Скобло Т. С., Сідашенко О. І., Сайчук О. В., Клочко О. Ю., Левкін Д. А.*

*Вплив напружень на структурні зміни в сірому чавуні .....57*

**РЕЗЮМЕ.** За результатами моделювання напруженого стану виявлено, що грубі включення графіту, які формуються у перехідних за товщиною стінок корпусних деталях, є осередками зародження дефектів, що розвиваються внаслідок зміни дислока-

ційної структури та дифузії вуглецю з графіту. Порожнини, які утворюються в графіті, також сприяють розвитку окиснення.

**Ключові слова:** *напруження, структуроутворення, дифузія вуглецю, дислокаційна структура, формування дефектів, енергетичні параметри.*

*РЕЗЮМЕ.* По результатам моделирования напряженного состояния выявлено, что грубые включения графита, которые формируются в переходных по толщине стенок корпусных деталях, являются очагами зарождения дефектов, которые развиваются вследствие изменения дислокационной структуры и диффузии углерода из графита. Полости, образующиеся в графите, способствуют также окислению.

**Ключевые слова:** *напряжение, структурообразование, диффузия углерода, дислокационная структура, формирование дефектов, энергетические параметры.*

*SUMMARY.* According to the results of the stress state modeling, it was found that coarse graphite inclusions that are formed in the case-type parts that are transitional in the wall thickness, are the sites of defects nucleation that propagate due to changes in the dislocation structure and carbon diffusion from graphite. Cavities, formed in graphite, contribute to the development of oxidation.

**Keywords:** *stress, structure formation, carbon diffusion, dislocation structure, defect formation, energy parameters.*

*Ghazvinloo H. R., Honarbakhsh-Raouf A.* Пластичність зварного з'єднання вуглецевої сталі CK45 ..... 66

*РЕЗЮМЕ.* Електродугове зварювання металів у газі (GMAW) останнім часом привертає особливу увагу через низку переваг і застосовується в різних галузях промисловості, зокрема, в автомобіле- та кораблебудуванні. Очікується, що параметри GMAW такі, як напруга і струм зварювання, а також його швидкість, сильно впливають на механічні властивості зварних з'єднань. Однією із найважливіших характеристик, яку слід враховувати на стадії проектування, є пластичність зварного з'єднання, яку можна встановити випробами на згин. Експериментальними дослідженнями виявлено вплив параметрів GMAW на пластичність зварного з'єднання у вуглецевій сталі CK45. Отримані результати чітко ілюструють монотонну залежність між параметрами зварювання і пластичністю зварного з'єднання.

**Ключові слова:** *газове електродугове зварювання металів, змінні параметри зварювання, міцність, зварювання металу.*

*РЕЗЮМЕ.* Электродуговая сварка металлов в газе (GMAW) в последнее время привлекает особое внимание по ряду преимуществ и применяется в различных отраслях промышленности, в частности, в автомобиле- и судостроении. Ожидается, что параметры GMAW такие, как напряжение и ток сварки, а также ее скорость, сильно влияют на механические свойства сварных соединений. Важной характеристикой, которую следует учитывать на стадии проектирования, является пластичность сварного соединения, которую определяют испытаниями на изгиб. Экспериментальными исследованиями выявлено влияние параметров GMAW на пластичность сварного соединения в углеродистой стали CK45. Полученные результаты четко иллюстрируют монотонную зависимость между параметрами сварки и пластичностью сварного соединения.

**Ключевые слова:** *газовая электродуговая сварка металлов, сменные параметры сварки, прочность, сварка металла.*

*SUMMARY.* Gas Metal Arc Welding (GMAW) has received a lot of attention in recent years due to its many benefits, and is now applied in different industrials such car industry and ship building. It is expected that the GMAW parameters such arc voltage, welding current and welding speed severely affect mechanical properties of the welding joints. One of the most important mechanical properties that should be taken into consideration when

designing is ductility of welding joint that can be determined by bending test. The purpose of this paper is an experimental investigation to determine the effect of robotic GMAW parameters on the ductility of welding joints in the CK45 carbon steel. The results clearly illustrate that the ductility of welding joints has a monotonic relationship to welding parameters.

**Keywords:** *Gas Metal Arc Welding, welding parameters, ductility, welding joint.*

*Максимів О. В., Кирилів В. І., Чайковський Б. П., Кирилів Я. Б., Гордійчук Л. М., Ярошович І. Г.* Вплив поверхневого наноструктурування на роботоздатність чавунних валків СШХН ..... 70

**РЕЗЮМЕ.** Досліджено зносостійкість, втомну та корозійно-втомну міцність чавуну валків СШХН-42 з поверхневою наноструктурою, отриманою механоімпульсною обробкою, в умовах роботи валків вальцювальних станів. Показано, що поверхнева наноструктура підвищує зносостійкість чавуну в 3 рази порівняно із вихідним станом, а втомну міцність майже вдвічі. Наведено обґрунтування такої поведінки чавуну з поверхневою наноструктурою.

**Ключові слова:** *валки вальцювальних станів, чавун СШХН-42, нанокристалічна структура, зносостійкість, втома, корозійна втома.*

**РЕЗЮМЕ.** Исследовано износостойкость, усталость и коррозионную усталость чугуна СШХН с поверхностной наноструктурой, полученной механоимпульсной обработкой в условиях работы валков прокатных станов. Показано, что поверхностная наноструктура повышает износостойкость чугуна в 3 раза сравнительно с исходным состоянием, а усталость и коррозионную усталость почти вдвое. Приведено обоснование такого поведения чугуна с поверхностной наноструктурой.

**Ключевые слова:** *валки прокатных станов, чугун валков СШХН-42, нанокристаллическая структура, износостойкость, усталость, коррозионная усталость.*

**SUMMARY.** Wear resistance, fatigue and corrosion fatigue of the cast-iron of rollers СШХН-42 with surface nanocrystalline structure received by mechanical-pulse treatment were studied in the working conditions of mill rollers. It was shown that surface nanocrystalline structure of the cast-iron of СШХН type increased its wear resistance in 3 times, fatigue and corrosion fatigue almost in 2 times compared with the as-received state. The behavior of cast-iron with surface nanostructure was substantiated.

**Keywords:** *mill rollers, cast iron of rollers СШХН-42, nanocrystalline structure, wear resistance, fatigue, corrosion fatigue.*

*Стечишин М. С., Олександренко В. П., Мартинюк А. В., Лук'янюк М. М., Довжик М. Я., Герасименко В. О.* Фізико-хімічні властивості карбоазотованої сталі 40Х ..... 76

**РЕЗЮМЕ.** Подано результати дослідження впливу безводневого карбоазотування в тліючому розряді на фізико-хімічні характеристики зміцненого шару сталі 40Х залежно від вмісту пропану та тиску газового середовища. Розглянуто три варіанти насичення: вуглець + азот, азот + вуглець, спільне насичення азотом та вуглецем. Аналіз отриманих результатів показав найвищу ефективність зміцнення поверхні сталі 40Х за третім варіантом насичення.

**Ключові слова:** *карбоазотування, мікротвердість, структура.*

**РЕЗЮМЕ.** Приведены результаты исследования влияния безводородного углеродирования в тлеющем разряде на микротвердость упрочненного слоя стали 40Х в зависимости от содержания пропана и давления газовой среды. Рассмотрены три варианта насыщения: углерод + азот, азот + углерод, совместное насыщение азотом и углеродом. Анализ полученных результатов показал наивысшую эффективность упрочнения поверхности стали 40Х по третьему варианту насыщения.



**Ключевые слова:** *углеазотирование, микротвердость, структура.*

**SUMMARY.** The results of the study of the influence of anhydrous carbohydrogenation in a smoldering discharge on the microhardness of the hardened 40X steel layer, depending on the propane content and pressure of the gas environment are presented. Three variants of saturation are considered: carbon + nitrogen, nitrogen + carbon, combined saturation with nitrogen and carbon. The analysis of the obtained results shows the highest efficiency of hardening of the 40X steel surface by the third saturation variant.

**Keywords:** *carbonitrogenation, microhardness, structure.*

*Мисливченко О. М., Крапівка М. О., Терещенко О. С., Філен М. Й.*

Вплив хрому на фазовий склад і особливості зміцнення високоентропійного сплаву MnFeCoNiCu..... 81

**РЕЗЮМЕ.** Шестикомпонентна система високоентропійних сплавів MnFeCoNiCuCr<sub>x</sub> з різним вмістом хрому (де  $x = 0; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0$  mol) отримана методом аргоно-дугової плавки в печі МІФІ-9. З допомогою рентгеноструктурного аналізу, растрової електронної мікроскопії та індентування досліджено вплив хрому на кристалічну структуру, мікроструктуру і твердість цих сплавів у литому стані. Залежно від вмісту хрому в їх структурі виявлено суміш таких фазових складників: два гранецентрованих куби + об'ємноцентрований куб + інтерметалічна  $\sigma$ -фаза (ГЦК1+ ГЦК2+ОЦК+ $\sigma$ ). Встановлено, що зі збільшенням вмісту хрому утворюється структура ОЦК та  $\sigma$ -фаза, що є домінуючим чинником зміцнення сплаву.

**Ключові слова:** *високоентропійні сплави, фазовий склад, твердість.*

**РЕЗЮМЕ.** Шестикомпонентная система высокоэнтропийных сплавов MnFeCoNiCuCr<sub>x</sub> с различным содержанием хрома (где  $x = 0; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0$  mol) получена методом аргоно-дуговой плавки в печи МИФИ-9. С помощью рентгеноструктурного анализа, растровой электронной микроскопии и индентирования исследовано влияние хрома на кристаллическую структуру, микроструктуру и твердость этих сплавов в литом состоянии. В зависимости от содержания хрома в их структуре выявлена смесь следующих фазовых составляющих: два гранецентрированной куба + + объемноцентрированный куб + интерметаллическая  $\sigma$ -фаза (ГЦК1 + ГЦК2 + ОЦК +  $\sigma$ ). Увеличение содержания хрома приводит к образованию ОЦК- и  $\sigma$ -фаз, что является доминирующим фактором упрочнения сплава.

**Ключевые слова:** *высокоэнтропийные сплавы, фазовый состав, твердость.*

**SUMMARY.** The six-component system of high-entropy MnFeCoNiCuCr<sub>x</sub> alloys with different chromium content (where  $x = 0, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0$  mol) was obtained by the method of argon-arc melting in the MIFI-9 furnace. Using the X-ray analysis, scanning electron microscopy and indentation, the effect of chromium on the crystal structure, microstructure and hardness of these alloys in the cast state was investigated. Depending on the chromium content, the MnFeCoNiCuCr<sub>x</sub> alloys have a mixture of the following phase components in their structure: two face-centered cubes + body-centered cubes + intermetallic  $\sigma$ -phase (FCC1 + FCC2 + BCC +  $\sigma$ ). An increase in the chromium content leads to the formation of a BCC structure and  $\sigma$ -phases, which is the dominant factor in the alloy strengthening.

**Keywords:** *high-entropy alloys, phase composition, hardness.*

*Лузан С. О., Лузан А. С.* Мікроструктура та опір абразивному зношуванню

наплавленого матеріалу системи Ni-Cr-B-Si із включеннями дисперсних фаз ..... 86

**РЕЗЮМЕ.** Досліджено мікроструктуру наплавлених покриттів композиційним матеріалом на основі самофлюсівного сплаву ПГ-10Н-01, модифікованого механоактивним композиційним матеріалом, отриманим з допомогою СВС-процесу. Рентгенофазовим аналізом у структурі покриття виявлено включення дибориду титану

(TiB<sub>2</sub>), бориду нікелю (Ni<sub>3</sub>B), оксидів титану (TiO) та заліза (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), розподілених у нікелевій матриці. Встановлено, що модифікувальний додаток під час електродугового наплавлення сприяє подрібненню структури, підвищенню твердості і мікротвердості наплавленого шару, збільшенню абразивної зносостійкості в 1,5 рази порівняно зі сплавом ПГ-10Н-01.

**Ключові слова:** композиційний матеріал, наплавлені шари, СВС-процес, бориди, оксиди, зносостійкість, фазовий склад, абразив, порошок системи Ni–Cr–B–Si.

**РЕЗЮМЕ.** Исследована микроструктура наплавленных покрытий композиционным материалом на основе самофлюсующегося сплава ПГ-10Н-01, модифицированного механоактивированным композиционным материалом, полученным с использованием СВС-процесса. Рентгенофазовым анализом в структуре наплавленного покрытия обнаружены включения диборида титана (TiB<sub>2</sub>), бориды никеля (Ni<sub>3</sub>B), оксидов титана (TiO) и железа (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), распределенных в никелевой матрице. Выявлено, что модифицирующая добавка при электродуговой наплавке способствует измельчению структуры, повышению твердости и микротвердости наплавленного слоя, увеличению абразивной износостойкости в 1,5 раза в сравнении с сплавом ПГ-10Н-01.

**Ключевые слова:** композиционный материал, наплавленные слои, СВС-процесс, бориды, оксиды, износостойкость, фазовый состав, абразив, порошок системы Ni–Cr–B–Si.

**SUMMARY.** The microstructure of the coatings deposited by a composite material based on a self-fluxing alloy ПГ-10Н-01 modified by a mechano-activated composite material obtained using a self-propagating high-temperature synthesis process is investigated. The X-ray phase analysis reveals the presence in the structure of the deposited coating of inclusions of titanium diboride (TiB<sub>2</sub>), nickel boride (Ni<sub>3</sub>B), titanium oxide (TiO) and iron (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), distributed in the nickel matrix. It is shown that the use of the modifying additive in electric arc surfacing promotes grinding of the structure, increase of the hardness and microhardness of the deposited layer, increase of the abrasive wear resistance in 1.5 times in comparison with the ПГ-10Н-01 alloy.

**Keywords:** composite material, deposited layers, SHS process, borides, oxides, wear resistance, phase composition, abrasive, Ni–Cr–B–Si powder.

Завалій І. Ю., Лютий П. Я., Ощиповський І. В., Ковальчук І. В.,

Березовець В. В. Нові субнітриди Zr<sub>3</sub>MN<sub>x</sub> (M – Co, Ni): теоретичні розрахунки, кристалічна структура та воденьсорбційні властивості..... 93

**РЕЗЮМЕ.** Методом DFT розраховано вільну енергію та густину станів сполук Zr<sub>3</sub>NiO та Zr<sub>3</sub>NiN. Підтверджено їх утворення та вперше синтезовано низку сполук складу Zr<sub>3</sub>MN<sub>x</sub> (M – Co, Ni), які належать до похідної включення від структурного типу Re<sub>3</sub>B (просторова група *Smc*). Досліджено гідрування отриманих субнітридів з газової фази. Встановлено, що вибрані зразки утворюють однофазні гідриди (Zr<sub>3</sub>NiN<sub>0,5</sub>H<sub>5,64</sub>; Zr<sub>3</sub>CoNH<sub>5,62</sub>), які зберігають кристалічну структуру вихідної матриці зі збільшенням об'єму елементарної комірки приблизно на 16%. Методом TDS вивчено десорбцію водню у вакуум для деяких гідридів Zr<sub>3</sub>CoN(O)<sub>x</sub>. Порівняно десорбційні властивості залежно від типу стабілізуючого елемента та вмісту водню в гідриді.

**Ключові слова:** сплави цирконію, гідриди, воденьсорбційні властивості, субнітриди, субоксиди, розрахунковий метод DFT, вільна енергія, густина станів.

**РЕЗЮМЕ.** Рассчитаны свободная энергия и плотность состояний методом DFT для соединений Zr<sub>3</sub>NiO и Zr<sub>3</sub>NiN. Подтверждено их образование и впервые синтезирован ряд соединений Zr<sub>3</sub>MN<sub>x</sub> (M – Co, Ni). Установлено, что они относятся к производной включения от структурного типа Re<sub>3</sub>B (пространственная группа *Smc*). Исследовано гидрирование полученных субнитридов из газовой фазы. Установлено, что выбранные образцы образуют однофазные гидриды (Zr<sub>3</sub>NiN<sub>0,5</sub>H<sub>5,64</sub>; Zr<sub>3</sub>CoNH<sub>5,62</sub>), которые сохраняют кристаллическую структуру исходной матрицы при увеличении

объема элементарной ячейки ~16%. Методом ТДС изучена десорбция водорода в вакуум для ряда гидридов  $Zr_3CoN(O)_x$ . Сравнены десорбционные свойства в зависимости от типа стабилизирующего элемента и содержания водорода в гидридах.

**Ключевые слова:** сплавы циркония, гидриды, водородсорбционные свойства, субнитриды, субоксиды, расчетный метод DFT, свободная энергия, плотность состояний.

*SUMMARY.* Calculation of the free energy and density of states by DFT method for  $Zr_3NiO$  and  $Zr_3NiN$  compounds have been performed. Their formation was confirmed and the series of  $Zr_3MN_x$  ( $M$  – Co, Ni) compounds have been synthesized. It was shown that all of them belong to insertion derivative of  $Re_3B$  structure type (space group  $Cmcm$ ). Gas phase hydrogenation of the obtained subnitrides have been investigated. It was shown that some samples formed single phase hydrides ( $Zr_3NiN_{0.5}H_{5.64}$ ;  $Zr_3CoNH_{5.62}$ ), which retain crystal structure of the original matrix with lattice volume expansion ~16%. Hydrogen desorption in a vacuum for a number of  $Zr_3CoN(O)_x$  hydrides have been investigated by TDS method. Comparison of the desorption properties, depending on the type of stabilizing element and the hydrogen content in the hydride have been made.

**Keywords:** zirconium alloys, hydrogen sorption properties, subnitrides, suboxides, hydrides, calculation method DFT, free energy, density of states

Марущак П. О., Литвиненко Я. В., Дзюра В. О., Біщак Р. Т.,  
Полутренко М. С. Виявлення мікродефектів на поверхні  
кородованої сталеві труби..... 103

*РЕЗЮМЕ.* Кількісно оцінено мікромеханізми біокорозійного пошкодження зразків трубної сталі 17Г1С-У шляхом поєднання підходів профілометрії та механіки руйнування. Розвинуто методи обчислення коефіцієнтів концентрації напружень як параметрів корозійних мікроконцентраторів напружень. Вдосконалений підхід апробовано на профілограмах кородованої трубної сталі. Обґрунтовано, що з урахуванням концентрації напружень в околі мікронадрізів, якими є заглибини профілограм, можна оцінити безпечні (допустимі) мікрокорозійні пошкодження.

**Ключові слова:** біокорозія, аналіз профілограм, діагностування, концентрація напружень.

*РЕЗЮМЕ.* Количественно оценены микромеханизмы биокоррозионного повреждения образцов трубной стали 17Г1С-У на основе сочетания подходов профилометрии и механики разрушения. Развита методика расчета коэффициентов концентрации напряжений как параметров локализации коррозионных микроконцентраторов напряжений. Усовершенствованный подход апробирован на профилограмме корродированной трубной стали. Обосновано, что с учетом концентрации напряжений в окрестности микронадрезов – углублений профилограмм можно оценить безопасные (допустимые) микрокоррозионные повреждения.

**Ключевые слова:** биокоррозия, анализ профилограмм, диагностика, концентрация напряжений.

*SUMMARY.* The micromechanisms of biocorrosion damage of the 17Г1С-У pipe steel samples are analyzed based on the combination of profilometry and fracture corrosion approaches. The methods of calculation of the stress concentration factors as parameters of localization of the stress corrosion microconcentrators are developed. The improved approach is approved on the profilogram of corroded pipe steel. It is substantiated that with account of the stress concentration in the vicinity of micronotches – cavities of profilograms it is possible to evaluate safe (admissible) microcorrosion damages.

**Keywords:** biocorrosion, profilogram analysis, diagnostics, stress concentration.

Немчук О. О., Звірко О. І. Електрохімічний метод діагностування деградації сталей морських порталних кранів ..... 112

**РЕЗЮМЕ.** Розвинуто електрохімічний метод оцінювання експлуатаційної деградації механічних властивостей вальцьованих сталей металоконструкцій морських порталних кранів. Проаналізовано закономірності зниження ударної в'язкості та поляризаційного опору сталей. Кореляційна залежність між ними стала основою для розроблення неруйнівного методу прогнозування стану металу за його опором крихкому руйнуванню. Продемонстровано низку інженерних рішень для його реалізації.

**Ключові слова:** *перевантажувальне обладнання, вальцьована сталь, експлуатаційна деградація, ударна в'язкість, електрохімічний метод.*

**РЕЗЮМЕ.** Развѣт электрохимический метод оценки эксплуатационной деградации механических свойств прокатных сталей металлоконструкций морских порталных кранов. Проанализированы закономерности эксплуатационного снижения, с одной стороны, ударной вязкости сталей, а с другой – их поляризационного сопротивления. Корреляционная зависимость между ними стала основой для разработки неразрушающего метода прогнозирования состояния металла за его сопротивлением хрупкому разрушению. Продемонстрировано ряд инженерных решений для его практической реализации.

**Ключевые слова:** *перегрузочное оборудование, прокатная сталь, эксплуатационная деградация, ударная вязкость, электрохимический метод.*

**SUMMARY.** An electrochemical method for evaluating in-service degradation of mechanical properties of rolled steels of marine portal cranes are developed. The regularities of the operational decrease, on the one hand, of the impact toughness of steels, and on the other hand, of their polarization resistance are presented. The correlation between them became the basis for the development of a non-destructive method for predicting the metal state by its resistance to brittle fracture. A number of engineering solutions for practical implementation of the method are demonstrated.

**Keywords:** *reloading equipment, rolled steel, operational degradation, impact toughness, electrochemical method.*

Ниркова Л. І., Осадчук С. О., Клименко А. В., Рибаків А. О., Мельничук С. Л., Прокопчук С. М. Вплив корозивності середовища на відношення струму катодного захисту до граничного дифузійного для трубної сталі Х70..... 119

**РЕЗЮМЕ.** Досліджено залежність відношення струму катодного захисту до граничного дифузійного для сталі Х70 у нормованому ДСТУ 4219 діапазоні захисних поляризаційних потенціалів від  $-0,75$  до  $-1,05$  V (відносно хлоридсрібного електрода порівняння) в середовищах з різною корозійною активністю. Встановлено, що в діапазоні рН від 5,6 до 9,6 зі змищенням потенціалу у бік від'ємніших значень співвідношення  $j_{c.p.}/j_{O_2}$  зростає від 0,5 до 138. Виявлено, що за однакового поляризаційного захисного потенціалу на ділянці магістрального газопроводу швидкість корозії в дефекті захисного покриття сталі може не тільки знизитися, але й активізувати відновлення водню. Доцільно значення  $j_{c.p.}/j_{O_2}$ , вище за яке пришвидшується розклад ґрунтового електроліту та виникає імовірність наводнювання стінки труби в дефекті покриття, визначати для кожного середовища та враховувати під час проектування катодного захисту магістральних газопроводів та моніторингу в період експлуатації, щоб попередити корозійне розтріскування від напружень.

**Ключові слова:** *сталь Х70 трубного сортаменту, захисний поляризаційний потенціал, катодний захист, швидкість залишкової корозії, співвідношення струму катодного захисту до граничного дифузійного.*

**РЕЗЮМЕ.** Исследована зависимость соотношения тока катодной защиты к предельному диффузионному для стали Х70 в нормируемом ДСТУ 4219 диапазоне за-

щитних поляризационних потенціалів від  $-0,75$  до  $-1,05$  V (відносно хлорсеребряного електроду порівняння) в середовищах з різною корозійною активністю. В діапазоні pH  $5,6 \dots 9,6$  при зсуві потенціалу до більш негативних значень співвідношення  $j_{c.p.}/j_{O_2}$  зростає від  $0,5$  до  $138$ . Виявлено, що однаковий поляризаційний захисний потенціал на ділянці магістрального газопроводу може сприяти не тільки затриманню корозії сталі в дефекті захисного покриття, але й прискоренню відновлення водороду. Цілеслобно значення співвідношення  $j_{c.p.}/j_{O_2}$ , вище якого активізується розкладання ґрунтового електроліту і виникає ймовірність наводороживання стінки труби в дефекті покриття, визначати для кожної середовища і враховувати при проектуванні катодної захисту магістральних газопроводів і моніторингу в період експлуатації з метою запобігання ініціювання корозійного растрескивання під напруженням.

**Ключові слова:** *сталь X70 трубного асортименту, захисний поляризаційний потенціал, катодна захист, швидкість залишкової корозії, співвідношення струму катодної захисту до граничного дифузійного.*

**SUMMARY.** The dependence of the ratio of the cathodic protection current and the limiting diffusion current  $j_{c.p.}/j_{O_2}$  on X70 steel in the range of protective polarization potentials, normalized by the State Standard of Ukraine 4219, from  $-0.75$  to  $-1.05$  V (relative to chlorine-silver reference electrode) in the environments with different corrosion activity is investigated. In the pH range from 5.6 to 9.6 under potential shifting to the more negative values, the ratio  $j_{c.p.}/j_{O_2}$  increases from 0.5 to 138. It is found that the same polarization protective potential on the section of the main gas pipeline could not only promote the retardation of steel corrosion in the protective coating defect, but also increase hydrogen reduction. It is worth determining the ratio  $j_{c.p.}/j_{O_2}$ , above which decomposition of the soil electrolyte accelerates and the probability of hydrogenation of the pipe wall in the coating defect appears, for each environment and to take it into account when designing cathode protection of the main gas pipelines and monitoring during operation to prevent initiation of stress corrosion cracking.

**Keywords:** *X70 steel of pipe assortment, protective polarizational potential, cathodic protection, residual corrosion rate, ratio of cathodic protection current and limit diffusion current.*

*Лещак Р. Л., Бабій А. В., Барна Р. А., Сиротюк А. М. Корозійна тривкість сталі рами штангових обприскувачів..... 126*

**РЕЗЮМЕ.** Порівняльно оцінено корозійну тривкість сталі Ст3пс у демінералізованій воді та насичених розчинах інсектициду Нурел Д і рідкого комплексного добрива КАС-32. Виявлено, що у демінералізованій воді домінує загальна корозія поверхні сталі. У розчині інсектициду разом з загальною частково реалізується локалізована пітингова корозія. У середовищі рідкого мінерального добрива відбувається пасивація поверхні металу, викликана фосфоровмісними інгібіторами корозії, що призводить до гальмування загальної корозії. Проте за локального порушення пасивності поверхні металу інтенсивно утворюються корозійні пітинги, що небезпечно через можливий їх розвиток та зародження у конструкції тріщиноподібних дефектів.

**Ключові слова:** *штангові обприскувачі, низьковуглецеві конструкційні сталі, корозійне середовище, рідкі комплексні добрива, рідкі засоби захисту рослин, швидкість корозії, густина струму корозії, потенціал корозії, корозійна тривкість.*

**РЕЗЮМЕ.** Осуществлена сравнительная оценка коррозионной стойкости стали Ст3пс в среде деминерализованной воды и в насыщенных растворах инсектицида Нурел Д и жидкого комплексного удобрения КАС-32. Виявлено, що в демінералізованій воді домінує загальна корозія поверхні сталі. В розчині інсектицида, наряду с общей, частично реализуется локализованная питтинговая коррозия. В среде жидкого минерального удобрения поверхность металла из-за присутствия

фосфорсодержащих ингибиторов коррозии пассивируется, что приводит к торможению общей коррозии. Однако при локальном нарушении пассивности поверхности интенсивно образуются коррозионные питтинги, что опасно из-за возможного дальнейшего их развития и зарождения в конструкции трещиноподобных дефектов.

**Ключевые слова:** *итанговые опрыскиватели, низкоуглеродистые конструкционные стали, коррозионная среда, жидкие комплексные удобрения, жидкие средства защиты растений, скорость коррозии, плотность тока коррозии, потенциал коррозии, коррозионная стойкость.*

**SUMMARY.** A comparative assessment of the corrosion resistance of Ст3пс steel in demineralized water and in saturated solutions of the Nurell D insecticide and UN-32 liquid complex fertilizer was carried out. It is shown that in the environment of demineralized water the process of general corrosion of the steel surface dominates. In the insecticide solution environment, along with the general corrosion process, a localized process of pitting corrosion is partially realized. In the environment of liquid mineral fertilizer, the metal surface is passive due to the presence of phosphorus-containing corrosion inhibitors, which leads to inhibition of the general corrosion process. However, in the case of local damage of the passivity of the metal surface, there is a process of intensive formation of corrosion pits, which is dangerous from the point of view of their possible further development and nucleation of crack-like defects in the structure.

**Keywords:** *boom sprayers, low carbon structural steel, corrosion environment, liquid fertilizer, liquid plant protection, corrosion rate, corrosion current density, corrosion potential, corrosion resistance.*

*Квасницька Ю. Г., Іваськевич Л. М., Балицький О. І., Максюта І. І.,*

*Мяльниця Г. П.* Високотемпературна сольова корозія нікелевого

жароміцного сплаву..... 133

**РЕЗЮМЕ.** Для одержання лопаток енергетичних та корабельних газотурбінних двигунів нового покоління створено жароміцний корозійностійкий сплав на основі нікелю, легований ренієм і танталом. Визначено, що введення у склад експериментального сплаву ренію (3,7...4,3 mass%) і танталу (2,5...4,3 mass%) підвищує стійкість матеріалу до високотемпературної корозії (звужує фронтальну зону корозійного пошкодження) після впливу газосольового середовища, яке виникає під час спільної дії продуктів згоряння палива і солей морської води.

**Ключові слова:** *жароміцний нікелевий сплав, лопатка газотурбінного двигуна, питома втрата маси, корозія.*

**РЕЗЮМЕ.** Для получения лопаток энергетических и судовых газотурбинных двигателей нового поколения создан жаропрочный коррозионностойкий сплав на основе никеля. Определено, что введение в состав экспериментального сплава рения (3,7...4,3 mass%) и тантала (2,5...4,3 mass%) приводит к повышению устойчивости материала к высокотемпературной газосольевой коррозии (сужение фронтальной зоны коррозионного повреждения), происходящей при совместном действии продуктов сгорания топлива и солей морской воды.

**Ключевые слова:** *жаропрочный никелевый сплав, лопатка газотурбинного двигателя, удельная потеря массы, коррозия.*

**SUMMARY.** To product the blades of power generation and marine gas turbine engines of the new generation, a heat-resistant corrosion-resistant alloy based on nickel has been created. It is determined that the introduction of experimental alloy of rhenium (3.7...4.3 mass%) and tantalum (2.5...4.3 mass%) leads to an increase in the material resistance to high-temperature gas-salt corrosion (narrowing frontal zone of corrosion damage), occurring under the combined action of combustion products of seawater fuel and salts.

**Keywords:** *heat-resistant nickel alloy, gas turbine engine blade, specific weight loss, corrosion.*

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРІВ

Міжнародний двомісячний журнал “Фізико-хімічна механіка матеріалів”, який видає англійською мовою видавництво Springer Verlag під назвою “Materials Science”, друкує результати досліджень та оглядові праці у галузі міцності та довговічності конструкційних матеріалів, охоплюючи механіку руйнування, зокрема з урахуванням робочих умов, та суміжні ділянки матеріалознавства, фізики і хімії. Окремі рубрики присвячені зміцнювальним технологіям, методам захисту від корозії (інгібітори, покриття тощо), інженерії поверхонь і оптимізації структури, а також діагностиці та неруйнівному контролю елементів конструкцій.

Журнал публікує статті українською, російською та англійською мовами.

### Вимоги до оформлення статті

1. Назву статті (**не більше двох рядків**) слід подати трьома мовами.  
2. Обсяг статей (крім оглядових) разом з таблицями, рисунками та підписами до них і список літератури не повинен перевищувати 12 тис. знаків (6 сторінок) шрифтом Times New Roman 10,5п з полуторним інтервалом.

3. Стаття повинна містити **ключові слова**, стислий виклад стану проблеми, опис предмета, мети і методу досліджень, результати та їх обговорення, висновки, за винятком коротких повідомлень обсягом не більше трьох сторінок.

4. **Резюме англійською, українською та російською мовами** до 20 рядків повинні містити **конкретні результати** і починатися словами “отримано...”, “показано...”.

5. На рисунках не повинно бути словесних позначень. У тексті статті вказують місце рисунка. Підписи пишуть мовою оригіналу та англійською. Англійський підпис мусить повністю пояснити, що зображено на рисунку. Рисунки, по змозі, роблять однакових розмірів, а їх ширина не має перевищувати 6 см. Подібні рисунки об’єднують у групи (Рис. *Ха, b, c, ...*). Рисунки, які у статті не аналізують і не використовують для наукових висновків, не поміщати. Не можна дублювати ті самі дані в таблицях, графіках і тексті статті, а також підписи під рисунками у тексті.

6. Для позначення величин вживати літери тільки латинської та грецької абеток. Всі символи треба пояснити в тексті. Не застосовувати індекси у вигляді початкових літер якогось слова, а замінити їх на цифри (наприклад,  $a_0$  замість  $a_{\text{поч.}}$ ). Номер формули вказують, якщо **на ній далі є посилання**.

7. Фізичні величини подають в одиницях СІ, користуючись міжнародними позначеннями.

8. Цитовану літературу треба обмежити тільки найважливішими працями. Список літератури подають у порядку посилання в статті **мовою оригіналу** (можна дублювати англійською мовою), як вказано нижче.

*Мазурак Л. П., Бережницький Л. Т., Качур П. С.* Пружна рівновага ізотропних тіл із криволінійними включеннями // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 1998. – № 6. – С. 21–31.

*Ang H. E. and Gao Y. L.* Strength prediction of unidirectional composites with a circular hole // Int. J. of Fracture. – 1992. – **56**, № 2. – Р. 23–29. (*Для журнальних статей*).

*Кортен Х. Т.* Механіка розрушення композитів // Разрушение / Под ред. Г. Либовица. – М.: Мир, 1976. – Т. 5. – С. 367–471.

*Speidel H. J. C., Uggowitzer P. J. and Speidel M. O.* Properties of cold worked high-nitrogen chromium based alloys // 5<sup>th</sup> Int. Conf. on High Nitrogen Steels (Espoo, Finland, May, 24–26, 1998). – Stockholm, Sweden, 1998. – Р. 124. (*Для статей у збірнику*).

*Похмурський В. І., Федоров В. В.* Вплив водню на дифузійні процеси в металах. – Львів: Вид. ФМІ НАН України, 1998. – 208 с. (*Для монографій*).

9. Обсяг огляду та літературу до нього можна збільшити залежно від тематики та інформативності.

**Разом із двома видруками в редакцію подають комп’ютерну версію статті, підготовлену в редакторі Microsoft Office Word 2003 for Windows XP (конвертувати формули для Math Type 5), та рисунки у форматах \*.tif або \*.cdr (лише в чорно-білому виконанні). Статтю пересилають Е-поштою (як attachment).**

10. До статей додають дані про авторів (ПІБ повністю (**трьома мовами**), № телефону, Е-пошту), а також назву й адресу установи, в якій виконано роботу, і вказують контактну особу.

**Статті, не оформлені за цими правилами, редакція не розглядатиме.**

**Докладнішу інформацію можна отримати телефоном: (032) 263-73-74.**

E-mail: journal.pcm@gmail.com

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. Г. В. КАРПЕНКО

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ

Международный научно-технический журнал

Основан в январе 1965 года

Выходит 6 раз в год

**ТОМ 56, № 3, 2020**

май – июнь

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Андрейкив А. Е., Долинская И. Я., Райтер О. К.</i> Расчетная модель для оценивания долговечности фибробетонных конструкций при длительном статическом нагружении .....	7
<i>Кравец В. С., Саврук М. П.</i> Деформирование изотропной пластины с периодической системой криволинейных отверстий и полос пластичности .....	15
<i>Козачок О. П.</i> Влияние частичного заполнения зазоров сжимаемой жидкостью на контакт упругих тел с волнистым рельефом .....	24
<i>Масюк А. С., Кысиль Х. В., Катрук Д. С., Скорохода В. И., Билый Л. М., Гуменецкий Т. В.</i> Упругопластические свойства полилактидных композитов с мелкодисперсными наполнителями .....	31
<i>Jinfei Wang, Кунь П. С., Ленковский Т. М., Викович И. А., Бойко В. Н.</i> Оценивание усталостной прочности пластинчатой тяговой цепи .....	39
<i>Мындюк В. Д., Чабан Н. И., Рыбицкий И. В., Карпаш О. М.</i> Связь между параметрами акустических структурных шумов и механическими свойствами конструкционных сталей .....	44
<i>Шейкин С. Е., Андреев И. В., Мельниченко В. В., Студенец С. Ф., Мельниченко Я. В., Гнатенко И. А.</i> Деформационное упрочнение сплава системы W–Ni–Fe холодным многоциклическим редуцированием .....	51
<i>Скобло Т. С., <u>Сидашенко А. И.</u>, Сайчук А. В., Клочко О. Ю., Левкин Д. А.</i> Влияние напряжений на структурные изменения в сером чугуна .....	57
<i>Ghazvinloo H. R., Honarbakhsh-Raouf A.</i> Пластичность сварного соединения углеродистой стали СК45 .....	66
<i>Максымов О. В., Кырылив В. И., Чайковский Б. П., Кырылив Я. Б., Гордийчук Л. Н., Ярошович И. Г.</i> Влияние поверхностного наноструктурирования на работоспособность чугунных валков СШХН .....	70
<i>Стечишин М. С., Олександренко В. П., Мартынюк А. В., Лукьянюк Н. Н., Довжик М. Я., Герасименко В. А.</i> Физико-химические свойства углекислотированной стали 40X .....	76
<i>Мысльвченко А. Н., Крапивка Н. А., Терещенко А. С., Филеп М. И.</i> Влияние хрома на фазовый состав и особенности упрочнения высокоэнтропийного сплава MnFeCoNiCu .....	81



<i>Лузан С. О., Лузан А. С.</i> Микроструктура и сопротивление абразивному износу наплавленного материала системы Ni–Cr–B–Si с включениями дисперсных фаз .....	86
<i>Завалий И. Ю., Лютый П. Я., Ощиповский И. В., Ковальчук И. В., Березовец В. В.</i> Новые субнитриды $Zr_3MN_x$ (M – Co, Ni): теоретические расчеты, кристаллическая структура и водородосорбционные свойства .....	93
<i>Марущак П. О., Литвиненко Я. В., Дзюра В. А., Бицак Р. Т., Полутренко М. С.</i> Выявление микродефектов на поверхности корродированной стальной трубы .....	103
<i>Немчук А. О., Звирко О. И.</i> Электрохимический метод диагностирования деградации сталей морских порталных кранов .....	112
<i>Ныркова Л. И., Осадчук С. А., Клименко А. В., Рыбаков А. А., Мельничук С. Л., Прокопчук С. Н.</i> Влияние коррозионной активности среды на отношение тока катодной защиты к предельному диффузионному для трубной стали X70 .....	119
<i>Лецак Р. Л., Бабий А. В., Барна Р. А., Сыротюк А. М.</i> Коррозионная стойкость стали рамы штанговых опрыскивателей .....	126
<i>Квасницкая Ю. Г., Іваськевич Л. М., Балицкий А. И., Максютта И. И., Мьяльница Г. Ф.</i> Высокотемпературная солевая коррозия никелевого жаропрочного сплава .....	133

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE  
H. V. KARPENKO PHYSICO-MECHANICAL INSTITUTE

# PHYSICO-CHEMICAL MECHANICS OF MATERIALS

International Scientific-Technical Journal  
Founded in January 1965  
Published bimonthly

**VOLUME 56, № 3, 2020**

May – June

## CONTENTS

<i>Andreikiv O. Ye., Dolinska I. Ya., and Raiter O. K.</i> Calculation model for assessment of fibroconcrete structures lifetime under long-term static loading .....	7
<i>Kravets V. S., and Savruk M. P.</i> Deformation of an isotropic plate with a periodic system of curvilinear holes and plasticity bands .....	15
<i>Kozachok O. P.</i> The influence of partial filling of gaps by compression liquid on the contact of elastic bodies with a wavy relief .....	24
<i>Masiuk A. S., Kysil Kh. V., Katruk D. S., Skorokhoda V. Yo., Bilyy L. M., and Humenetskyi T. V.</i> Elasto-plastic properties of polylactide composites with highly dispersed fillers.....	31
<i>Jinfei Wang, Kun P. S., Lenkovskiy T. M., Vikovych I. A., and Boiko V. M.</i> Assessing fatigue strength of a plate traction chain .....	39
<i>Myndiuk V. D., Chaban N. I., Rybitskyi I. V., and Karpash O. M.</i> Relation between parameters of acoustic structural noises and mechanical properties of structural .....	44
<i>Sheikin S. Ye., Andreiev I. V., Melnychenko V. V., Studenets S. F., Melnychenko Ya. V., and Hnatenko I. O.</i> Deformation hardening of W–Ni–Fe alloy by cold multi-cycle reduction .....	51
<i>Skoblo T. S., Sidashenko O. I., Saychuk O. V., Klochko O. Y., and Levkin D. A.</i> The influence of stresses on structural changes in grey cast-iron .....	57
<i>Ghazvinloo H. R. and Honarbakhsh-Raouf A.</i> Ductility of welding joints in CK45 carbon steel .....	66
<i>Maksymiv O. V., Kyrlyiv V. I., Chaikovskiy B. P., Kyrlyiv Ya. B., Hordiichuk L. M., and Yaroshovych I. H.</i> The influence of surface nanostructurization on seviceability of cast-iron of CIIXH rollers .....	70
<i>Stechyshyn M. S., Oleksandrenko V. P., Martyniuk A. V., Lukianiuk M. M., Dovzhyk M. Ya., and Gerasimenko V. A.</i> Physicochemical properties of 40X carbonitrided steel.....	76
<i>Myslyvchenko O. M., Krapivka M. O., Tereshchenko O. S., and Filep M. Yo.</i> The influence of chromium on the phase composition and peculiarities of strengthening of high-entropy MnFeCoNiCu alloy.....	81
<i>Luzan S. O. and Luzan A. S.</i> Microstructure and abrasive wear resistance of the deposited Ni–Cr–B–Si material with dispersive phases inclusions .....	86

<i>Zavaliy I. Yu., Liutyi P. Ya., Oshchapovskyi I. V., Kovalchuk I. V., and Berezovets V. V.</i> New subnitrides $Zr_3MN_x$ ( $M - Co, Ni$ ): theoretical calculations, crystal structure and hydrogen sorption properties .....	93
<i>Marushchak P. O., Lytvynenko Ya. V., Dziura V. O., Bishchak R. T., and Polutrenko M. S.</i> Detection of microdefects on the surface of corroded steel pipe.....	103
<i>Nemchuk O. O. and Zvirko O. I.</i> Electrochemical method of diagnostics of sea portal cranes degradation.....	112
<i>Nyrkova L. I., Osadchuk S. O., Klymenko A. V., Rybakov A. O., Melnychuk S. L., and Prokopchuk S. M.</i> The influence of corrosive environment on the correlation of cathode protection current and limit diffusion current for the X70 pipe steel .....	119
<i>Leshchak R. L., Babii A. V., Barna R. A., and Syrotyuk A. M.</i> Corrosion resistance of steel for boom sprayers frame.....	126
<i>Kvasnytska Yu. H., Ivaskevych L. M., Balitskii O. I., Maksyuta I. I., and Mialnitsa G. P.</i> High-temperature salt corrosion of nickel heat-resistant alloy .....	133